

Abs	Neue Energie (3 / 2008)	Technology Review (6 / 2008)	Abs
	Die perfekte Zelle (Sascha Rentzing)	Wettlauf um den Wirkungsgrad (Sascha Rentzing)	
0	Das Potenzial der kristallinen Siliziumtechnologie ist längst nicht ausgeschöpft. Hocheffizienzzellen mit Wirkungsgraden über 20 Prozent, optimierte Herstellungsverfahren und materialsparende Dünnschichtsilizium-Module stehen vor der Industriereife. Sie können Solarstromkosten erheblich senken.	Die Effizienz von Solarzellen ist noch längst nicht ausgereizt. Forscher kämpfen an vielen Fronten um jeden Prozentpunkt – und müssen immer auch an die Kosten denken.	0
1	In seinem Grußwort zur 20-Jahr-Feier des Instituts für Solarenergieforschung Hameln im vergangenen Oktober gab Ulrich Stiebel beiläufig eine wichtige Investitionsentscheidung bekannt:	Ganz beiläufig verkündete Ulrich Stiebel Ende vergangenen Jahres ein unbescheidenes Vorhaben:	1
2	Sein Unternehmen werde in der Region in die Herstellung einer am ISFH entwickelten Solarzelle einsteigen. Das Außergewöhnliche an dem Vorhaben: Der Holzmindener Hersteller von Haus- und Systemtechnik betritt mit der Photovoltaik (PV) völliges Neuland, will technologisch aber gleich ganz hoch hinaus. Stiebel Eltron plant die Fertigung neuer Hochleistungszellen mit einem Wirkungsgrad von rund 20 Prozent. Bei kristallinen Siliziumzellen werden heute im Durchschnitt Wirkungsgrade von 15 bis 17,5 Prozent erreicht.	Sein Unternehmen Stiebel Eltron, bisher vor allem bekannt als Hersteller von Heizungstechnik und Durchlauferhitzern, steigt in das Photovoltaik-Geschäft ein – und strebt als völliger Newcomer gleich einen Platz in der Weltspitze an. Mit einer neu entwickelten Solarzelle will Stiebel einen Wirkungsgrad von 20 Prozent erreichen; derzeit verfügbare Standardzellen kommen auf 15 bis 17,5 Prozent.	
		Damit beteiligt sich der niedersächsische Mittelständler an einem Wettlauf, bei dem Weltkonzerne schon vorgelegt haben: Sanyo und die US-Firma Sun-Power etwa produzieren bereits Zellen mit 21 Prozent Wirkungsgrad und kommen damit dem Labor-Weltrekord von 24,7 Prozent, der derzeit von der University of New South Wales in Sydney gehalten wird, ziemlich nahe.	2
		Da die Sonne kostenlos vom Himmel strahlt, könnte einem Solaranlagenbetreiber der Wirkungsgrad seiner Module eigentlich ziemlich egal sein. Dennoch beeinflusst der Wirkungsgrad die Wirtschaftlichkeit stärker als jeder andere einzelne Faktor bei der Herstellung, einschließlich der Skaleneffekte durch eine größere Produktionsmenge: Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad senkt, so die Unternehmensberatung Photon Consulting, die Kosten um fünf Prozent, da pro Watt weniger Material benötigt wird.	3
		Lasern statt drucken	
		Allerdings lässt sich nicht alles, was im Labor mit einem hohen Wirkungsgrad glänzt, in der Massenfertigung mit vertretbarem Aufwand realisieren.	4
3	Was die sogenannte Rise-Zelle (Rear	Vor diesem Problem stand auch Stiebel Eltron.	

Abs	Neue Energie (3 / 2008)	Technology Review (6 / 2008)	Abs
	Interdigitated Single Evaporation-Zelle) so effizient macht: Im Gegensatz zu Standardzellen befinden sich sämtliche Kontakte, die den generierten Stroms ableiten, auf der Rückseite. Ihre Front ist also völlig verschattungsfrei. So kann mehr Licht in sie eindringen und zur Stromproduktion genutzt werden.	Das Unternehmen setzt auf sogenannte Rise-Zellen (Rear Interdigitated Single Evaporation), bei denen sich die Stromanschlüsse auf der Rückseite befinden, sodass die Front nicht von Kontakten verschattet wird.	
4	Das Funktionsprinzip dieses neuen Typs ist simpel, seine Herstellung aber eine echte Herausforderung, denn Rückkontaktzellen sind völlig anders aufgebaut als Standardzellen. So ist die Herstellung und Trennung der elektrisch positiven und negativen Halbleiter viel schwieriger. Der so genannte Emitter befindet sich beispielsweise hinten statt vorne. Er hat die Aufgabe, die Elektronen aus den Zellen zu den Kontakten zu leiten.	Doch solche Zellen sind schwierig herzustellen: Bei ihnen liegt der Emitter – die Schicht, die Elektronen aus der Zelle zu den Kontakten leitet – statt an der Vorder- an der Rückseite, also in unmittelbarer Nähe der Kontakte. Emitter und Kontakte müssen deshalb durch feine Grenzschichten voneinander getrennt werden, um Kurzschlüsse zu vermeiden. Das erfordert viel Prozess-Know-how.	
5	Das ISFH hat nach eigenen Angaben dazu einen Herstellungsprozess entwickelt, der sich für den industriellen Einsatz eignet.	Hier kam das Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), auf dessen 20-Jahr-Feier Stiebel den Photovoltaik-Einstieg bekannt gab, ins Spiel: Es hat nach eigenen Angaben einen industrietauglichen Fertigungsprozess dafür entwickelt.	
	„Unser Verfahren beruht auf der Anwendung von Lasern zum berührungslosen Strukturieren der Rückseite.	„Wir benutzen Laser zum berührungslosen Strukturieren der Rückseite.	
	Beide Kontakte werden durch Aufdampfen in einem einzigen Metallisierungsschritt hergestellt“, erklärt Jan Schmidt, Gruppenleiter Photovoltaik-Materialien am ISFH.	Beide Kontakte werden durch Aufdampfen in einem einzigen Metallisierungsschritt hergestellt“, erklärt Jan Schmidt, Gruppenleiter Photovoltaik-Materialien am ISFH.	
	Fünf Prozent mehr Wirkung		
6	Gelingt die industrielle Fertigung der Rise-Zelle, würde Stiebet Eltron technologisch aus dem Stand zur Weltspitze da Solarhersteller gehören – und einen weiteren Beweis dafür liefern, dass auch bei der kristallinen Siliziumtechnologie die Effizienz weiter deutlich gesteigert werden kann. Der Wirkungsgrad-Weltrekord liegt derzeit bei 24,7 Prozent und wird von Wissenschaftlern der University of New South Wales in Sydney gehalten. Zwar wurde die Rekordzelle aus ‚Down Under‘ mit einem sehr aufwändigen Verfahren produziert, das für den industriellen Einsatz kaum in Frage kommt. Dennoch dürfte in den nächsten Jahren die Serienproduktion von Zellen möglich werden, die diesem Wert zumindest nahekommen. Die Branche ist auf einem guten Weg: Die US-amerikanische Solarfirma Sunpower produziert bereits Zellen mit 21 Prozent Wirkungsgrad und ist damit am Markt sehr erfolgreich.	Auch Rekordhalter SunPower produziert Zellen, bei denen die Kontakte auf der Rückseite sind. Allerdings wird vermutet, dass das Unternehmen die Kontakte aufdruckt und daher mit relativ dicken Siliziumscheiben (Wafers) arbeiten muss – Auskünfte darüber erteilt es nicht. Die Rise-Zellen aus dem ISFH sollen dank Lasereinsatz mit dünneren und damit preiswerteren Wafers auskommen. Die ebenfalls rekordverdächtige Sanyo-Zelle wiederum besteht aus hochreinem monokristallinem Silizium, das von Schichten aus amorphem Silizium umgeben ist. Die beiden Materialien sind in verschiedenen Spektralbereichen empfindlich, sodass das Sonnenlicht besser ausgenutzt wird – um den Preis höherer Materialkosten und aufwendigerer Herstellung.	5
		Stromerzeugende Fassaden	
7	Das Streben nach immer höheren	Noch effizienter sind lichtbündelnde Systeme.	6

Abs	Neue Energie (3 / 2008)	Technology Review (6 / 2008)	Abs
	<p>Wirkungsgraden macht überaus Sinn. Es ist vor Massenproduktion und Materialeinsparung der effektivste Hebel, um Kosten zu senken. Ein Prozent Wirkungsgradsteigerung kann eine Kostensenkung von fünf bis sieben Prozent ermöglichen, hat Wim C. Sinke errechnet, Solarforscher am Energieforschungszentrum Niederlande (ECN) und Vorsitzender der Arbeitsgruppe Wissenschaft, Technologie und Anwendung der EU Photovoltaic Technology Platform. Solarstrom könnte so in einigen Jahren preislich auf Augenhöhe mit konventionell erzeugtem Strom liegen. Noch ist die Photovoltaik weit von der Wettbewerbsfähigkeit entfernt; Die Sonnen-Kilowattstunde ist hierzulande mit rund 40 Eurocent etwa doppelt so teuer wie der Steckdosenstrom.</p>	<p>Dabei konzentrieren integrierte Spiegel oder Linsen Licht auf eine winzige Zelle. Die deutsche Firma Concentrix (siehe TR 1/07) hat ein solches System mit 35 Prozent Wirkungsgrad entwickelt. „An guten Standorten können Konzentratorsysteme schon heute kostengünstiger Strom erzeugen als herkömmliche Flachmodule“, sagt Andreas Bett, Leiter der Abteilung Solarzellen am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg, aus dem Concentrix als Spin-off hervorgegangen ist. Allerdings müssen Konzentration-Module exakt der Sonne nachgeführt werden, was die Kosten erhöht und bei Dachanlagen kaum möglich ist.</p>	
7	<p>Außer mit Hochleistungszellen, wie die von Stiebel Eltron geplanten, lassen sich auch mit jungen Technologien wie der Dünnschicht Kosten senken. Neben Modulen aus Cadmium-Tellurid (CdTe) und Kupfer in Verbindung mit anderen Elementen (CIS-Zellen) haben Lichtfänger aus hauchdünnen Siliziumschichten das größte Potenzial. Beide deutschen Forschungshochburgen im Bereich der kristallinen Siliziumtechnologie, das ISFH und das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), arbeiten seit Jahren an dem Thema und haben experimentell bereits viel versprechende Ergebnisse erzielt: Sie stellen im Labor mittlerweile um ein Vielfaches dünnere Zellen als heute üblich her, die aber mit 15 Prozent einen genauso hohen Wirkungsgrade erreichen.</p>	<p>Auch am unteren Ende der Preisliste – bei der Dünnschicht-Technologie – herrscht reger Wettbewerb. Das größte Potenzial wird den CIS-Zellen (siehe Glossar) zugesprochen. Das National Renewable Energy Laboratory der USA erreichte damit einen Wirkungsgrad von 19,8 Prozent – keine andere Dünnschicht-Technologie kann da bislang mithalten. Allerdings sind industriell gefertigte Zellen noch weit von solchen Werten entfernt, und bei den Produktionskosten haben sie sich noch nicht von der konventionellen Konkurrenz abgesetzt. „Für CIS existieren einfach noch zu kleine Produktionseinheiten. Erst wenn die Massenproduktion läuft, werden die Kosten sinken“, sagt Hansjörg Gabler, bis vor Kurzem Leiter Photovoltaik im Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung.</p>	7
8	<p>Auch versuchen Firmen höhere Wirkungsgrade zu erreichen, indem sie die bestehenden Technologien und Produktionsverfahren verbessern. Das ist längst nicht so kostspielig wie der Aufbau einer neuen Hightech-Produktion, allerdings können durch bloße Veränderung einzelner Stellschrauben keine wirklichen Effizienzsprünge erzielt werden. Darauf bedachte Firmen müssen also abwägen, welcher Weg der wirtschaftlich sinnvollere ist.</p>	<p>Anders sieht es schon heute bei den ebenfalls dünnen Cadmiumtellurid-Zellen aus: Module des Marktführers First Solar erreichen zwar nur maximal elf Prozent Wirkungsgrad, das aber nach Unternehmensangaben für nur 75 Euro-Cent pro Watt und damit weit preiswerter als CIS- und Silizium-Module. Sie benötigen wegen ihres geringeren Wirkungsgrades zwar für die gleiche Leistung mehr Fläche, können dafür aber besser als stromerzeugende Fassaden und Fenster in Gebäude integriert werden. Centrosolar etwa verkauft neuerdings Dünnschicht-Siliziumzellen als Folien für Flachdächer.</p>	8
	<p>Kontakte verbessern, Verschattung vermeiden</p>	<p>360 Millionen für ein längeres Leben</p>	
9	<p>Optimierungen zielen prinzipiell darauf ab, Verluste durch Optik, elektrische Widerstände an den Kontakten sowie durch Rekombination</p>	<p>Organische Nanozellen könnten bald ebenfalls eine Option für die Gebäudeintegration sein. Die Firma G24i etwa produziert seit 2007</p>	9

Abs	Neue Energie (3 / 2008)	Technology Review (6 / 2008)	Abs
	zu verringern. Rekombination bezeichnet den Vorgang innerhalb der Zelle, bei dem sich negative Elektronen wieder mit den positiven Elektronenlöchern vereinen, aus denen sie zuvor Licht herausgeschlagen haben.	Farbstoffzellen in großtechnischem Maßstab. Dabei wandelt ein Gemisch aus Titandioxid-Nanopartikeln und Farbstoffmolekülen – winzige Bällchen einer Ruthenium-Verbindung – ähnlich wie bei der Photosynthese Licht in Strom um.	
	Durch neue Materialien und Verfahren zur Passivierung und Entspiegelung der Zellenoberflächen kann der Wirkungsgrad ebenfalls um bis zu einem Prozent steigen. Passivierende Schichten halten positive und negative Ladungsträger davon ab, sich gegenseitig zu neutralisieren, außerdem sorgen sie durch eine Art Entspiegelung dafür, dass mehr Strahlung genutzt werden kann. Nicht zuletzt versprechen alternative Methoden zur Herstellung von Zellenkontakten mehr Effizienz. Vor allem der Suche nach letztgenannten Verfahren widmen die Institute und die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Unternehmen momentan viel Zeit.	Die größte Schwäche solcher organischen Zellen ist, dass sie nach wenigen Jahren an Leistung verlieren. Um das zu ändern, wollen das Bundesforschungsministerium und große Unternehmen, darunter BASF, Bosch, Merck und Schott, die organische Photovoltaik mit zusammen 360 Millionen Euro fördern. Ziel ist es, organische Solarzellen mit mindestens zehn Prozent Wirkungsgrad und einer Lebensdauer von mehr als zwanzig Jahren zu entwickeln – zu Kosten, die weit unter denen konventioneller Siliziummodule liegen.	10
		Trotz der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Dünnschicht & Co. glaubt Stefan Glunz, Leiter der Abteilung Entwicklung von Siliziumsolarzellen am Fraunhofer ISE, an die Zukunft der Silizium-Wafer-Technologie, da ihre Langzeitstabilität außer Frage stehe und sich ihre Effizienz bereits mit relativ geringem Aufwand verbessern lasse. Wirkungsgradsteigerungen von bis zu einem Prozent sind etwa zu erreichen, indem Antireflexionsschichten mehr Strahlung nutzbar machen und Passivierschichten der Rekombination (siehe Glossar) entgegenwirken.	11
	Die in der Industrie heute am weitesten verbreitete Technologie zur Herstellung von Vorderseitenkontakten ist der Siebdruck von Metallpasten . Dieses Verfahren ist zwar robust und etabliert, hat aber Nachteile im Hinblick auf die Qualität der Zelle:	Auch neue Methoden zur Herstellung von Zellenkontakten helfen weiter. Heute werden Frontkontakte meist durch Siebdruck von Metallpasten produziert.	12
	Breite Kontaktfinger behindern etwa den Lichteinfall , sie weisen hohe Widerstände sowie eine geringe Leitfähigkeit auf. Zudem wirken beim Drucken hohe mechanische Kräfte auf die Zellen. Sind die verwendeten Siliziumscheiben (Wafer) wie heute üblich 200 Mikrometer dick, können sie diesen Kräften problemlos standhalten . Um teures Silizium einzusparen, geht der Trend aber zu immer dünneren Wafers, die in Zukunft beim Druckverfahren leichter brechen könnten.	Die so hergestellten breiten Kontaktfinger behindern den Lichteinfall und haben hohe Widerstände . Zudem treten beim Druck große Kräfte auf, dem nur vergleichsweise dicke Zellen trotzen können .	
		Wunderstoff in der Produktion	
10	Das Fraunhofer ISE arbeitet deshalb an Metallisierungsverfahren , die ohne klassischen	Das Fraunhofer ISE entwickelt deshalb Metallisierungsprozesse , die ohne Siebdruck	13

Abs	Neue Energie (3 / 2008)	Technology Review (6 / 2008)	Abs
	<p>Siebdruck einen mindestens ebenso hohen Wirkungsgrad aufweisen. Die Forscher setzten dabei vor allem auf die chemische Abscheidung von Metallen, wodurch sich feinste Kontaktstrukturen realisieren lassen. Das neueste Verfahren der Freiburger beruht allerdings auf einer anderen, zweistufigen Technik: Dabei wird mit einem speziell konzipierten Druckkopf zunächst ein Metallaerosol, in Luft schwebende Metallpartikel, in hauchdünnen Kontaktlinien auf die Zelle aufgebracht. Dabei entsteht ein Kontaktgitter, das durch galvanische Verdickung unter Beleuchtung der Zelle mit Metallen beschichtet und leitfähiger wird, um den Kontaktfingerwiderstand und damit den Energieverlust zu reduzieren. „Dieser Prozess ist industriell wesentlich einfacher umzusetzen als die direkte Kontaktierung des filigranen Vorderseitenkontaktgitters“, erklärt Stefan Glunz, Leiter der Abteilung Entwicklung und Charakterisierung von Siliziumsolarzellen am Fraunhofer ISE.</p>	<p>auskommen. „Wir setzen dabei auf die chemische Abscheidung von Metallen oder das kontaktlose Drucken von Metallaerosolen“, sagt Glunz.</p>	
11	<p>Für die Solarworld-Tochter Deutsche Cell ist die Zellen-Metallisierung ebenfalls ein wichtiges Thema. Das Unternehmen will seine Lichtfänger künftig mit feineren Stromsammelschienen ausstatten, um den Wirkungsgrad um etwa cm Prozent zu steigern. Monokristalline Zellen der Deutschen Cell, das Premiumprodukt des Hauses, würden es dann auf 18 Prozent bringen.</p>		
	<p>Hochreines Silizium wird wichtiger</p>		
12	<p>In diesen Bereich will kurzfristig auch der Erfurter Solarhersteller Ersol Solar Energy vordringen. Derzeit erreichen monokristalline Zellen der Firma laut Projektleiter Jan Lossen Wirkungsgrade von 16,8 bis 17 Prozent. Nun soll die Effizienz durch „graduelle Prozessoptimierungen“ sowie eine Verbesserung des Lichteinfangs an der Vorderseite gesteigert werden. Außerdem arbeitet Ersol gemeinsam mit ISFH und Fraunhofer ISE in einem öffentlich geförderten Projekt an der Entwicklung von Zellen mit lasergefeuerten Rückseitenpunktkontakten (LFC-Zellen, siehe Grafik). Mit dem Verfahren können nicht nur sehr dünne Wafer behandelt werden, LFC-Zellen erreichen auch deutlich höhere Wirkungsgrade als Standardzellen: Mit Punktlaser etwa wird eine bessere Passivierung der Rückseite erreicht als durch Siebdruck, wodurch an der Oberfläche weniger Ladungsträger verloren gehen.</p>	<p>Sein Institut arbeitet zusammen mit dem Photovoltaik-Hersteller Ersol außerdem an Rückseitenkontakten, die durch punktuell Laserbefeuern einer Aluminiumschicht gebildet werden. Auf diese Weise könnten papierdünne Wafer verwendet werden.</p>	

Abs	Neue Energie (3 / 2008)	Technology Review (6 / 2008)	Abs
	<p>In zwei bis drei Jahren will das thüringische Unternehmen die rückseitenkontaktierte Hochleistungszelle produzieren. „Wir verfolgen intern ein Programm für eine 20-Prozent-Zelle“, sagt Lossen.</p>	<p>In zwei bis drei Jahren will Ersol damit auf dem Markt sein.</p>	
	<p>Im Mittelpunkt der Überlegungen steht dabei hochreines monokristallines n-Typ-Silizium. Dieser Stoff wird bereits bei der Herstellung mit geringen Dosen Phosphor angereichert (Phosphordotierung) und ist daher leicht negativ geladen. Der Vorteil von n-Typ gegenüber dem herkömmlichen bordotierten p-Typ-Silizium besteht darin, dass es bessere elektrische Eigenschaften hat: Es ist bei Beleuchtung stabiler, die Ladungsträger neutralisieren sich nicht so schnell, was bei Rückkontaktzellen unabdingbar ist. Dort fehlen Emitter und Kontakte an der Vorderseite, weshalb sich Elektronen und Elektronenlöcher durch die ganze Zelle hindurch bis zu den Kontakten auf der Rückseite bewegen müssen. In schlechteren Material würden sie sich schnell gegenseitig neutralisieren. Das hochwertige n-Typ-Silizium garantiert dagegen, dass sie den langen Weg unbeschadet überstehen.</p>	<p>Weitere Effizienzgewinne verspricht monokristallines „n-Typ“-Silizium. Es hat bessere elektrische Eigenschaften als das derzeit meist verwendete „p-Typ“-Silizium. So überleben die Ladungsträger darin länger, was bei Rückkontaktzellen unabdingbar ist.</p>	14
13	<p>Doch so leicht lässt sich der Wunderstoff nicht in der Produktion einsetzen. Denn die Herstellung des ladungsträgerleitenden Emitters ist bei negativ dotiertem Silizium ein Problem. Dieser muss positiv, also mit Bor versetzt sein. Der Prozessschritt ist wesentlich kritischer als die Dotierung des Siliziums durch Phosphordiffusion für ein positiv leitendes Grundmaterial. Die Bordiffusion in eine industrielle Prozessumgebung einzubinden oder alternative Stoffe wie amorphes Silizium zu verwenden, ist eine große Herausforderung bei der Herstellung von Hochleistungszellen aus n-Typ-Silizium. Bisher haben dies im industriellen Maßstab nur Sunpower und der japanische Elektronikkonzern Sanyo bewältigt.</p>	<p>Bislang allerdings ist es nur SunPower und Sanyo gelungen, den Wunderstoff in einen industriellen Prozess einzubinden. Wie, darüber ist kaum etwas bekannt.</p>	
14	<p>Unfehlbar sind deren Zellen aber keineswegs. Sunpower zum Beispiel druckt die Rückseitenkontakte auf, muss also mit relativ dicken Wafern arbeiten, da diese bei der Bearbeitung sonst brechen würden. An dieser Stelle bietet sich für innovative Firmen wie Ersol die Chance zu Verbesserungen: Würden die Zellenrückseiten etwa per Laser strukturiert, könnten deutlich dünnere Wafer eingesetzt werden, was Kosten und Material spart. Zudem gilt bei Rückkontaktzellen: Je dünner der Wafer, desto höher der Wirkungsgrad. Denn mit</p>		

Abs	Neue Energie (3 / 2008)	Technology Review (6 / 2008)	Abs
	<p>abnehmender Dicke reduziert sich der Weg, den die Ladungsträger zu den rettenden Kontakten zurücklegen müssen Ob Ersol das Laser-Verfahren aber tatsächlich anwenden wird, bleibt unklar: „Entscheidend ist die günstige Herstellungsmethode“, sagt Lossen.</p>		
	<p>Wann kommt Q-Cells Top-Zelle?</p>		
15	<p>Auch der sachsenanhaltinische Zellengigant Q-Cells befasst sich mit dem Thema Rückkontaktzellen. Gemeinsam mit ISFH und Fraunhofer ISE haben die Thalheimer die sogenannte Quebec-Zelle entwickelt. Der per Lasertechnik strukturierte und daher potenziell kostengünstig herzustellende Stromgenerator bringt es im Labor auf 21 Prozent Wirkungsgrad. Die Pilotproduktion soll Firmensprecher Stefan Dietrich zufolge noch in diesem Jahr beginnen. In deren Verlauf wird sich entscheiden, ob Q-Cells die neuen Zellen seriell fertigen oder das Projekt abbrechen wird. Ausgeschlossen ist das trotz intensiver Forschungsarbeit und hoher Investitionen offenbar nicht. Laut Dietrich verfolgt das Unternehmen parallel weitere viel versprechende Hocheffizienzkonzepte, bewahrt darüber aber noch absolutes Stillschweigen. In Thalheim ist man inzwischen, wie bei vielen anderen Herstellern auch, zugeknöpfter geworden. Angesichts der wachsenden Konkurrenz aus Asien und Nordamerika ist der Zugang zu den Laboren strikt untersagt.</p>		
	<p>Eine Alternative zu Zellen aus hochreinem Silizium könnten „Emitter Wrap Through“-Zellen (EWT-Zellen, siehe Grafik) sein. Zwar erreichen sie nicht ganz so hohe Wirkungsgrade, sind aber deutlich günstiger herzustellen. Auch bei diesem Typ befinden sich die Kontakte auf der Rückseite, um mehr Lichteinfall von vorn zu ermöglichen.</p>	<p>Eine Alternative dazu könnten sogenannte „Emitter Wrap Through“-Zellen (EWT) sein. Diese Rückkontaktzellen sind weniger effizient, aber günstiger herzustellen,</p>	15
	<p>Allerdings bestehen EWT-Zellen aus vergleichsweise unreinem, dafür aber günstigem multikristallinem Silizium. Diese Art Silizium für Rückkontaktzellen zu verwenden, klingt zunächst unsinnig.</p>	<p>denn sie bestehen aus unreinerem multikristallinem Silizium.</p>	
	<p>Doch trotz der vielen Defekte des multikristallinen Siliziums, können Ladungsträger an der Rekombination gehindert werden: Damit es die freien Ladungsträger von der Vorder- zur kontaktieren Rückseite schaffen,</p>	<p>Um die Ladungsträger trotz der strukturellen Defekte des Materials an der Rekombination zu hindern,</p>	
	<p>wird der gut leitende Emitter durch eine Vielzahl von Löchern von der Front nach hinten geführt. Diese Löcher werden per Laser gebohrt — rund 20.000 pro Zelle. Man muss sie sich vorstellen wie schützende Röhren, die den</p>	<p>wird der Emitter durch viele lasergebohrte Löcher von der Front- auf die Rückseite geführt.</p>	

Abs	Neue Energie (3 / 2008)	Technology Review (6 / 2008)	Abs
	Ladungsträgern einen sicheren Übergang ermöglichen.		
	<p>Bisher werden EWT-Zellen nur von der US-amerikanischen Solarfirma Advent Solar, einer Ausgründung der Sandia National Laboratories in Albuquerque, hergestellt. In seiner Fabrik mit 25 Megawatt Kapazität erreicht Advent Wirkungsgrade von 15,2 Prozent, etwas mehr als herkömmliche, multikristalline Siliziumzellen. Das Unternehmen hält es für möglich, den Wirkungsgrad um bis zu zwei Prozent zu steigern. Teures Material zu sparen ist auch die Kernidee, die hinter Dünnschichtzellen aus kristallinem Silizium steckt. Bis sie industriell hergestellt werden können, wird zwar noch einige Zeit vergehen, ISFH wie Fraunhofer ISE sind der Lösung aber auf der Spur: Sie verwenden Wafer, die mit 25 beziehungsweise 40 Mikrometer um ein Vielfaches dünner sind, als heutige Standard-Siliziumscheiben (200 Mikrometer). Im Mittelpunkt stehen dabei die sogenannten Waferäquivalente. Das sind Substrat-Schicht-Kombinationen, die wie eine herkömmliche Siliziumscheibe funktionieren und in konventionellen Fertigungsstraßen zu Zellen verarbeitet werden.</p>	<p>Bisher werden EWT-Zellen nur von der US-Firma Advent Solar hergestellt. Sie erreichen Wirkungsgrade von 15,2 Prozent, sind also etwas effizienter als Standardzellen aus multikristallinem Silizium. Die wirtschaftlich erreichbare Effizienz sieht Advent bei 17 Prozent – die bisherigen Low-Cost-Zellen dringen also in Regionen vor, die bisher monokristallinen Zellen vorbehalten waren.</p>	16
	Dünnschichtsilizium auf dem Vormarsch		
16	<p>Beim Fraunhofer ISE etwa wird zur Erzeugung eines solchen Waferäquivalents aus siliziumhaltigem Gas eine hochwertige Dünnschicht auf kostengünstigen Substraten als Trägermaterial abgeschieden. Dieses Gas ist im Gegensatz zum klassischen Silizium praktisch unbegrenzt verfügbar. Das ISFH geht einen Schritt weiter: Es stellt Wafer-Imitate her, die bis zu neun Mal wiederverwertet werden können. Sie bestehen nicht aus hochreinem Silizium, sondern aus einer einfachen porösen Schicht des Halbleitermetalls. So kann noch mehr Material gespart werden. Bei dem sogenannten PSI-Prozess wird auf das Substrat aus porösem Silizium eine Schicht hochwertiges Silizium abgeschieden. Dann wird die Zelle auf der leicht zugänglichen Oberfläche fertig gestellt, bevor sie mit dieser Seite auf Glas aufgeklebt wird. Die dünne Siliziumschicht lässt sich anschließend an porösen Sollbruchstellen vom Substrat ablösen. Nun wird die Rückseite der Zelle oder des Moduls gefertigt. Der Substratwafer steht nach der Reinigung für die Herstellung einer weiteren Siliziumschicht zur Verfügung. „Mit dieser Technik können die Produktionskosten drastisch gesenkt werden“,</p>		

Abs	Neue Energie (3 / 2008)	Technology Review (6 / 2008)	Abs
	<p>sagt Schmidt. All diese Beispiele zeigen: Neue Zellen und Wege zur Verbesserung des Wirkungsgrades können schon heute mit relativ geringem Aufwand umgesetzt werden. Mit der kristallinen Siliziumtechnologie ist also auch künftig zu rechnen. Selbst wenn neue Dünnschichtmaterialien oder die Nanotechnologie mit Farbstoff- oder Plastikzellen Einzug in die Photovoltaik halten und deutliche Kostensenkungen versprechen — vom Markt verdrängt werden sie den Klassiker nicht. Die Effizienz von Hochleistungs- oder EWT-Zellen werden sie selbst langfristig schwerlich erreichen. Wahrscheinlich wird es in Zukunft ein Nebeneinander verschiedener Technologien geben, wobei Lichtfänger aus Silizium dominierend bleiben.</p>		
17	<p>Das hohe Potential zur Optimierung und Kostensenkung sollte die Hersteller zu Optimismus und weiteren Investitionen bewegen, statt Regierungspläne zu kritisieren, die eine deutlichere Absenkung der Förderung vorsehen — sowohl in Deutschland als auch in Spanien werden solche Schritte erwogen. Stiebel Eltron könnte zum Vorbild für die Branche werden: Ohne große Worte zu machen, wird die Firma wahrscheinlich in die Produktion einer Hightech-Zelle einsteigen.</p>		